

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Bjoern HEISMANN

Application No.: NEW

Filed: February 6, 2004

For: CALIBRATION OF THE TRANSFORMATION OF SPECTRAL X-RAY  
ATTENUATION VALUES IN DENSITY AND ATOMIC NUMBER  
INFORMATION

**PRIORITY LETTER**

February 6, 2004

COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. BOX 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Dear Sirs:

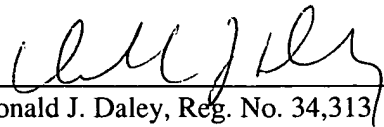
Pursuant to the provisions of 35 U.S.C. 119, enclosed is/are a certified copy of the following  
priority document(s).

<b><u>Application No.</u></b>	<b><u>Date Filed</u></b>	<b><u>Country</u></b>
DE 10305105.8	February 7, 2003	GERMANY

In support of Applicant's priority claim, please enter this document into the file.

Respectfully submitted,

HARNESS, DICKEY, & PIERCE, P.L.C.

By   
Donald J. Daley, Reg. No. 34,313  
P.O. Box 8910  
Reston, Virginia 20195  
(703) 668-8000

DJD:jj



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 05 105.8

**Anmeldetag:** 7. Februar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Eichung der Transformation spektraler Röntgenschwächungswerte in Dichte- und Ordnungszahlinformation

**IPC:** G 01 N, A 61 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. November 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag



**Stark**

## Beschreibung

Eichung der Transformation spektraler Röntgenschwächungswerte in Dichte- und Ordnungszahlinformation

5

Die vorliegende Erfindung betrifft die Kalibrierung von, zur separaten Ermittlung der Verteilung von Dichte und effektiver Ordnungszahl in einem Untersuchungsobjekt ausgelegten Röntgenanlagen.

10

Die klassischen radiographischen Verfahren, wie beispielsweise die Computer-Tomographie, Mammographie, Angiographie, Röntgeninspektionstechnik oder vergleichbare Verfahren liefern eine Darstellung der Schwächung eines Röntgenstrahls entlang seines Weges von der Röntgenquelle zum Röntgendetektor. Die Schwächung wird von den durchstrahlten Medien bzw. Materialien entlang des Strahlengangs verursacht. Angegeben bzw. aufgezeichnet wird sie üblicherweise in Form des Schwächungskoeffizienten  $\mu$ , der als Logarithmus des Verhältnisses der Intensität der geschwächten Strahlung zur Primärstrahlung bezogen auf ein Wegnormal definiert ist.

15

20

25

Erhöhte Schwächungswerte lassen sich entweder auf Materialien höherer Ordnungszahl, wie beispielsweise Calcium im Skelett oder Jod in einem Kontrastmittel zurückführen, oder auf eine höhere Materialdichte, wie etwa bei einem Lungenknoten. Der lokale Schwächungskoeffizient  $\mu$  an einem Messort ist abhängig von der in das dort befindliche Gewebe bzw. Material eingestrahlt Röntgenenergie, der lokalen Gewebe- bzw. Materialdichte  $\rho$  und der Ordnungszahl  $Z$  des Materials am Messort.

30

35

Die energieabhängige Röntgenabsorption eines Materials, wie sie von seiner effektiven Ordnungszahl bestimmt wird, überlagert daher die von der Materialdichte beeinflusste Röntgenabsorption. Materialien bzw. Gewebe unterschiedlicher chemischer wie physikalischer Zusammensetzung können daher im Röntgenbild identische Schwächungswerte aufweisen. Umgekehrt kann dagegen aus dem Schwächungswert einer Röntgenaufnahme

nicht auf die Materialzusammensetzung eines Untersuchungsobjekts geschlossen werden.

Eine korrekte Interpretation der somit eigentlich eher unanschaulichen Verteilung der Röntgenschwächungswerte in einem mit einem radiographischen Untersuchungsverfahren erstellten Röntgenbild kann im medizinischen Sektor meist nur aufgrund morphologischer Kriterien erfolgen und erfordert meist einen Radiologen mit jahrzehntelanger Erfahrung auf seinem Gebiet.

Dennoch können in einigen Fällen Strukturen, die in der Bildgebung einer Röntgenuntersuchung mit erhöhten Schwächungswerten auffallen, nicht klar klassifiziert werden. Beispielsweise ist eine hilusnahe Verkalkung auf einer Thoraxübersichtsaufnahme nur schwer von einem orthograd zur Bildebene liegenden Gefäß zu unterscheiden. Auch eine diffuse Kalkeinlagerung kann beispielsweise kaum von einer frischen Einblutung unterschieden werden.

Auch in der Material- und Sicherheitsprüfung ergänzt der Prüfer i.a. die Information der Darstellung einer Schwächungswert-Verteilung durch seine persönliche Fachkenntnis und berufliche Erfahrung. Dennoch ist ihm z.B. ein sicheres Unterscheiden einer kunststoffgebundenen Sprengstoffmischungen von einem nichtexplosiven Kunststoff direkt aus einem Röntgenbild nicht möglich.

Hierfür sind Verfahren zur Darstellung materialcharakteristischer Werte erforderlich. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10143131.7 beschrieben. Das Verfahren macht sich die Tatsache zunutze, dass bei einem definierten Röntgenstrahlspektrum die Schwächungswerte, i.e. die Röntgenschwächungswerte für bestimmte Wertepaare  $(\rho, Z)$ , d.h. Kombinationen der Materialdichte  $\rho$  und der Ordnungszahl  $Z$  identisch sind und zusammen in der  $\rho$ - $Z$ -Ebene eine sogenannte Isoabsorptionslinie bilden. Bei Verwendung eines zweiten, anders gearteten Röntgenstrahlspektrums erhält man eine anders verlaufende zweite Isoabsorptionslinie, welche die erste in einem Punkt schnei-

det, dessen Koordinaten in der  $\rho$ -Z-Ebene die Materialdichte  $\rho$  und die Ordnungszahl  $Z$  des durchstrahlten Materials wiedergeben.

- 5 Im Kontext dieser Beschreibung wird der Begriff Ordnungszahl nicht im strengen, elementbezogenen Sinn verwendet, sondern bezeichnet stattdessen eine effektive Ordnungszahl eines Gewebes, respektive Materials, die sich aus den chemischen Ordnungszahlen und Atomgewichten der am Aufbau des Gewebes bzw.
- 10 Materials beteiligten Elemente berechnet. Die genaue Gleichung zur Ermittlung einer Ordnungszahl im Sinne des dargelegten ist in der erwähnten Patentanmeldung angegeben. Auch der Begriff des Röntgenspektrums beschränkt sich in dieser Darstellung nicht auf die Spektralverteilung einer, von einer
- 15 Röntgenquelle emittierten Röntgenstrahlung, sondern berücksichtigt darüber hinaus die unterschiedliche Gewichtung unterschiedlicher Spektralbereiche des Emissionsspektrums der Röntgenröhre auf Seiten der Röntgendetektoren. Ein gemessener Schwächungswert ergibt sich daher aus der direkten Schwächung
- 20 des von der Röntgenröhre emittierten Strahlenspektrums und dem spektralen Wirkungsgrad des verwendeten Röntgendetektors. Beide Werte sind anlagenspezifische Größen und können sich im Lauf der Zeit ändern.
- 25 Der Verlauf einer Isoabsorptionslinie in der  $\rho$ -Z-Ebene wird von der jeweiligen Spektralverteilung eines Röntgenspektrums in entscheidender Weise beeinflusst. Da ein messtechnisches Erfassen des Spektralverlaufs der Röntgenspektren an einer Röntgenanlage sehr aufwendig ist, bestimmt man, um auf entsprechende Messungen verzichten zu können, die Schwächungswerte verschiedener Eichmaterialien in einer Röntgenanlage bei den verschiedenen daran verwendeten Röntgenspektren. Die Messungen werden in bestimmten Abständen wiederholt um eventuellen Veränderungen der Röntgenspektren mit der Zeit Rechnung zu tragen. Die Eichmaterialien unterscheiden sich von-
- 35 einander in ihren Materialdichten und vorzugsweise auch in ihrer Ordnungszahl. Die Messwerte bilden Stützpunkte für eine nachfolgende Berechnung von Isoabsorptionslinien. Auf der Ba-

sis der Isoabsorptionslinien werden eine Dichtefunktion  $\rho(\mu_1, \mu_2)$  und eine Ordnungszahlfunktion  $Z(\mu_1, \mu_2)$  berechnet, die einem Wertepaar von Schwächungswerten  $\mu_1$  und  $\mu_2$  eines Materials bei einem ersten und einem zweiten Röntgenspektrum dessen Dichte bzw. Ordnungszahl zuordnen.

Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, dass die Berechnung der Dichte- wie der Ordnungszahlfunktion sehr ungenau ist. Akzeptable Ergebnisse werden nur bei Eichproben mit mittlerer Ordnungszahl erzielt. Aus entsprechenden Eichmessungen gewonnene Dichte- und Ordnungszahlfunktionen sind daher im Bereich kleiner wie großer Ordnungszahlen sehr unzuverlässig.

Verwendet man jedoch Eichproben mit sehr verschiedenen Ordnungszahlen, so sind die gemessenen Röntgenschwächungswerte stark fehlerbehaftet und die ermittelte Kurvenschar von Isoabsorptionslinien erlaubt keine exakte Bestimmung der Dichte- und der Ordnungszahlfunktion einer Röntgenapparatur.

In der Praxis ergibt sich daraus die Schwierigkeit, dass die in der beschriebenen Weise berechneten Dichte- und Ordnungszahlfunktionen nicht die exakten Werte für Dichte und Ordnungszahl der, zu ihrer Erstellung verwendeten Eichproben reproduzieren. Diese Abweichungen der berechneten "Messwerte" von den tatsächlichen "Sollwerten" ist zudem nichtlinear von den Schwächungswerten  $\mu_1$  und  $\mu_2$  abhängig und nicht mit analytischen Methoden handhabbar. Dadurch wird in vielen Fällen eine zuverlässige Charakterisierung eines Materials oder Gewebes unmöglich.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur zuverlässigen Eichung der Transformation von, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten Röntgenschwächungswerten eines Materials in einen Wert für die Dichte und einen Wert für die Ordnungszahl des Materials anzugeben, das insbesondere die oben angesprochenen Nachteile nicht aufweist.

Zur Lösung des Verfahrens ist das Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch dessen kennzeichnende Merkmale weitergebildet. Es ist in einem Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 5 in maschinenausführbarer Form realisiert.

5

Die Lösung umfasst ein Verfahren zur Eichung einer Transformation von zumindest zwei, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten Röntgenschwächungswerten eines Materials in einen Wert für die Dichte und einen Wert für die Ordnungszahl des Materials. In einem ersten Verfahrensschritt wird eine erste Verteilung von, mit einem ersten Röntgenspektrum von einem Eichphantom erhaltenen ersten Röntgenschwächungswerten, und eine zweite Verteilung von, mit einem zweiten Röntgenspektrum von dem Eichphantom erhaltenen zweiten Röntgenschwächungswerten aufgezeichnet. Das Eichphantom weist zumindest drei räumlich voneinander getrennt angeordnete, sich in Dichte und/oder Ordnungszahl unterscheidende Eichproben auf. Aus den aufgezeichneten Röntgenschwächungswerten werden eine Dichtefunktion, die einer Kombination eines ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts eines Materials mit einem zweiten aufgezeichneten Röntgenschwächungswert des Materials einen Wert für eine Dichte des Material zuordnet erstellt sowie eine Ordnungszahlfunktion, die einer Kombination des ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts des Material mit dem zweiten aufgezeichneten Röntgenschwächungswert des Materials einen Wert für eine Ordnungszahl des Materials zuordnet. Aus den gemessenen Röntgenschwächungswerten werden mithilfe der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion aus den für eine Eichprobe aufgezeichneten ersten und zweiten Röntgenschwächungswerten jeweils ein Wert für die Dichte und die Ordnungszahl der Eichprobe ermittelt und die Abweichung der ermittelten Werte von der tatsächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe festgestellt. Auf der Grundlage der festgestellten Abweichung wird eine Abbildungsvorschrift erstellt, welche die von der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion ermittelten Werte in die tatsächlichen Werte überführt.

Obige Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Computerprogrammprodukt zur Kalibrierung einer Transformation von zumindest zwei, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten Röntgenschwächungswerten eines Materials in einen Wert für die Dichte und einen Wert für die Ordnungszahl des Materials mit Programmanweisungen für ein Erstellen einer Dichtefunktion und einer Ordnungszahlfunktion aus den, von einem Eichphantom mit zumindest drei räumlich voneinander getrennt angeordneten, sich in Dichte und/oder Ordnungszahl unterscheidenden Eichproben bei zumindest zwei unterschiedlichen Röntgenspektren aufgezeichneten Röntgenschwächungswerten. Weiterhin enthält das Computerprogrammprodukt Programmanweisungen zum Berechnen der Werte für Dichte und Ordnungszahl einer Eichprobe mithilfe der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion aus den, für die Eichprobe aufgezeichneten ersten und zweiten Röntgenschwächungswerten und zum Berechnen der Abweichung der für die Eichprobe berechneten Werte für Dichte und Ordnungszahl von der tatsächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe, und zum Ermitteln der Abweichung der für die Eichprobe berechneten Werte bezüglich Dichte und Ordnungszahl von der tatsächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe. Weitere Programmanweisungen sind ausgelegt eine Abbildungsvorschrift zu erstellen, welche die von der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion ermittelten Werte auf der Basis der festgestellten Abweichung in die tatsächlichen Werte überführt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Kalibrierung bzw. Eichung von energieauflösenden Röntgenabsorptionsmessungen wie sie z.B. in der Computertomographie der Materialprüfung oder der Sicherheitsinspektionstechnik eingesetzt werden. Es gestattet eine exakte Bestimmung von Dichte und Ordnungszahl auch bei Materialien bzw. Geweben, die eine niedrige oder eine hohe Ordnungszahl aufweisen.

Im Folgenden wird die Erfindung in Bezug auf spezielle Ausführungsformen beschrieben, wobei auf die beiliegenden Figuren verwiesen wird, von denen



Figur 1 ein Eichphantom mit Eichproben zur Kalibrierung der Transformationsmatrix zeigt,

5 Figur 2 die aus einer Vermessung der Eichproben von Figur 1 gewonnen Stützpunkte in der  $\rho$ -Z-Ebene darstellt,

Figur 3 die Abweichung der Eichmesswerte von den Sollwerten für die Dichtefunktion  $\rho(\mu_1, \mu_2)$  zeigt, und

10

Figur 4 die Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Flussdiagramm zeigt.

15

In der Figur 1 ist ein Eichphantom 1 zur Verwendung bei einer erfindungsgemäßen Eichmessung abgebildet. Es besteht aus mehreren Eichproben 2 die in einem Trägermaterial 3 angeordnet sind. Die Anzahl der Eichproben 2 sollte drei nicht unterschreiten. Die Eichproben 2 unterscheiden sich voneinander vorzugsweise sowohl in ihrer Dichte als auch in ihrer Ordnungszahl. Es genügt jedoch, wenn jeweils zwei Eichproben sich in einem der beiden Parameter unterscheiden.

20

25

Die Größe der Eichproben muss entsprechend der Aufgabe einer jeweils zu eichenden Röntgenapparatur gewählt werden. Für medizinische, computertomographische Untersuchungen ist eine Größe der Eichproben im Bereich von Millimetern bis zu Zentimetern geeignet. Für industrielle computertomographische oder andere radiographische Untersuchungsverfahren kann sich eine geeignete Größe der Eichproben auch im Dezimeterbereich bewegen.

30

35

Als Materialien für die Eichproben werden bevorzugt feste Stoffe verwendet, da diese besonders einfach in einem Eichphantom angeordnet werden können. Sind jedoch flüssige Eichmaterialien erforderlich, so werden die Flüssigkeiten in einen abschließbaren oder abgeschlossenen Behälter eingebracht und in dieser verkapselten Form im Eichphantom 1 angeordnet. Als Eichmaterialien 2 eignen sich z.B. Metalle wie beispiels-

weise Li, Al, Na, K und ihre Verbindungen, beispielsweise Salze oder dergleichen. Ebenfalls können Kunststoffe und organische Verbindung, beispielsweise körperähnliche Verbindungen mit variierenden Anteilen an H, O, C, N und Ca verwendet werden. Besonders im medizinischen Bereich ist die Verwendung einer Wasserprobe zu empfehlen. Als Trägermaterial des Eichphantoms wird zweckmäßig ein stabilisierendes Material, vorzugsweise ein Kunststoff wie beispielsweise Polymethylmethacrylat verwendet.

Die Wahl der Materialien richtet sich in erster Linie nach den, an einer entsprechenden Röntgenanlage durchzuführenden Untersuchungen. Dichte und Ordnungszahl eines jeden Eichmaterials besetzen, wie in der Figur 2 dargestellt, eine Koordinate 5 in der  $\rho$ -Z-Ebene 4. Die Koordinaten 5 aller Eichproben verteilen sich über ein Gebiet, das sich durch ein geschlossenes Polygon 6 eingrenzen lässt. Dieses Polygon 6 verbindet die äußeren Koordinatenpunkte 5 in der  $\rho$ -Z-Ebene 4 so, dass sich jeder dieser Punkte entweder auf einer Ecke des Polygons 6 oder innerhalb desselben befindet. Die Dichte-Ordnungszahlkombinationen der, an der zu eichenden Röntgenanlage zu untersuchenden Gewebe bzw. Materialien sollten innerhalb des, durch die Wahl der Eichproben bestimmten Polygons 6 liegen oder sich zumindest nahe am Polygon 6 befinden. Zumindest sollten die Eichproben so gewählt werden, dass die Dichte- und Ordnungszahlwerte der bei einer Untersuchung interessierenden Gewebe bzw. Materialien in den vom Polygon 6 aufgespannten Bereich oder dessen unmittelbare Nachbarschaft fallen.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, Eichproben zu verwenden, deren Dichte- und Ordnungszahlwerte in den für eine Untersuchung besonders interessierenden Bereichen nahe beieinander liegen. Damit wird ein dichtes Netz von Stützpunkten 5 in der  $\rho$ -Z-Ebene 4 geschaffen, womit eine höhere Genauigkeit in der Berechnung der Dichte- wie der Ordnungszahlfunktion erzielt werden kann.

Werden die Eichmaterialien mit zwei voneinander verschiedenen Röntgenspektren vermessen, so erhält man für jede Eichprobe 2 jeweils einen Messpunkt  $M_x$  (x ⑧ ⑩) in der Schwächungswertebene 7. Dies ist in der Figur 3 dargestellt. Analog erhält man bei Eichmessungen mit mehr als zwei Röntgenspektren einen Punkt in einem Schwächungswertraum, dessen Dimension der Anzahl der voneinander verschiedenen Röntgenspektren entspricht. Wendet man die, aus diesen Messpunkten  $M_x$  zuvor berechneten Dichte- und Ordnungszahlfunktionen auf diese Messpunkte  $M_x$  selbst an, so erhält man typischerweise von der tatsächlichen Dichte bzw. Ordnungszahl, d.h. den Materialeigenschaften der jeweiligen Eichprobe abweichende Werte. Die entsprechend den ermittelten Funktionen  $\rho(\mu_1, \mu_2)$  und  $Z(\mu_1, \mu_2)$  den tatsächlichen Materialeigenschaften einer Eichprobe 2 zuzuordnenden Schwächungswerte weichen in umgekehrter Weise von den Messwerten  $M_x$  ab. Diese sind als Sollwerte  $S_x$  im Diagramm 7 der Figur 3 eingetragen. Die Abweichung der Sollwerte  $S_x$  (x ⑧ ⑩) von den Messwerten  $M_x$  ist dabei, wie in der Figur 3 dargestellt extrem nichtlinear.

Um die Abweichung der aus den Messwerten errechneten Materialeigenschaften der Eichproben mit deren tatsächlichen zur Übereinstimmung zu bringen, wird ein Eichverfahren vorgeschlagen, das anhand der Figur 4 näher erläutert wird.

Das Verfahren beginnt in Schritt S0 mit einer Röntgenmessung, z.B. einer computertomographischen Vermessung des Eichphantoms 1 bei einem ersten Röntgenspektrum. Die Volumina der einzelnen Eichproben 2 werden dabei komplett vermessen. In Schritt S1 wird das Eichphantom 1 in der selben Weise wie in Schritt S0 aber mit einem zweiten, vom ersten verschiedenen Röntgenspektrum vermessen. Die erhaltenen ebenen oder räumlichen Verteilungen der Schwächungswerte des Eichphantoms 1 werden im Schritt S2 aufgezeichnet, bzw. im Datenspeicher einer Datenverarbeitungseinrichtung abgespeichert. Aus diesen Daten werden im nächstfolgenden Schritt S3 die Dichtefunktion  $\rho(\mu_1, \mu_2)$  und im darauf folgenden Schritt S4 die Ordnungszahlfunktion  $Z(\mu_1, \mu_2)$  berechnet.

Mit Hilfe der so erstellten Funktionen werden in Schritt S5 für jede Eichprobe 2 aus deren Schwächungswerten  $\mu_1$  und  $\mu_2$  die zugehörigen Materialeigenschaften zurückgerechnet. Die Differenz der so erhaltenen Werte mit den tatsächlichen Materialeigenschaften der jeweiligen Eichproben 2 wird in Schritt S6 berechnet. Hierzu sind vorzugsweise Dichte und Ordnungszahl einer jeden Eichprobe beispielsweise in einer Liste oder Datei a priori verzeichnet. Die Differenzen können getrennt für die Dichte und die Ordnungszahl einer jeden Eichprobe festgestellt werden. Daraus wird in Schritt S7 eine Abbildungsvorschrift erstellt, die eine lineare Abbildung in Form einer Transformationsmatrix  $[D]$  für die Dichtefunktion und  $[Z]$  für die Ordnungszahlfunktion wiedergibt.

Die beiden Transformationsmatrizen können auch erstellt werden, indem ihre Elemente so gewählt werden, dass die Absorptionswerte der Sollwerte  $S_x$  ( $S_1$  bis  $S_7$  in Figur 3) mit den Messwerten  $M_x$  ( $M_1$  bis  $M_7$  in Figur 3) in der Schwächungsebene 7 bzw. einem Schwächungsraum zur Deckung kommen.

Man erhält somit eine Eichung der Transformation von zwei, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten Röntgenschwächungswerten  $\mu_{1x}$  und  $\mu_{2x}$  eines Materials X in einen Wert für die Dichte  $\rho_x$  des Materials:

$$\rho_x = [D] \rho(\mu_{1x}, \mu_{2x}) = \rho'(\mu_{1x}, \mu_{2x}), \text{ und}$$

für die zugehörige Ordnungszahl  $Z_x$  des Materials:

$$Z_x = [Z] Z(\mu_{1x}, \mu_{2x}) = Z'(\mu_{1x}, \mu_{2x}),$$

wobei  $\rho'$  und  $Z'$  die geeichten Dichte- bzw. Ordnungszahlfunktionen für die betreffende Röntgenanlage darstellen.

Da sich die Röntgenspektren an einer Anlage mit der Zeit verändern, muss die beschriebene Eichmessung i.A. in regelmäßi-

gen oder unregelmäßigen Abständen wiederholt werden. Aktuelle ermittelte Abbildungsmatrizen lassen sich daher im Allgemeinen nicht auf ältere Messungen anwenden. Die bei den Eichungen ermittelten Abbildungsvorschriften in Form der Matrizen [D] und [Z] bzw. der Funktionen  $\rho'$  und  $Z'$  werden daher vorzugsweise auf einem Datenträger in Schritt S8 der Figur 4 gespeichert, sodass sie bei Auswertung zeitlich zurückliegender Untersuchungen jederzeit zur Kalibrierung herangezogen werden können.

10

Vorzugsweise werden die beschriebenen Verfahrensschritte zur Berechnung der Dichte- und Ordnungszahlfunktion sowie der Abbildungsvorschriften in Form von Anweisungen in einem Computerprogramm realisiert. Das Computerprogramm kann auf einem Datenträger gespeichert sein und dient bei Ausführung auf einer Datenverarbeitungsanlage zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens.

15

20

Das vorgeschlagene Eichverfahren erlaubt eine zuverlässige Kalibrierung der Transformation von mit verschiedenen Röntgenspektren von einem Gewebe oder Material gewonnenen Schwächungswerten in die Angabe der Dichte und der Ordnungszahl des Materials wobei auf eine separate Erfassung der spektralen Parameter der Röntgenanlage verzichtet werden kann. Praktisch wird eine Genauigkeit in der Dichtetransformation von  $\pm 0,1$  und in der Ordnungszahltransformation von  $\pm 20$   $\text{mg/cm}^3$  erreicht.

25

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Eichung einer Transformation von zumindest  
zwei, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten  
5 Röntgenschwächungswerten eines Materials in einen Wert für  
die Dichte und einen Wert für die Ordnungszahl des Materi-  
als, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- Aufzeichnen einer ersten Verteilung von, mit einem ers-  
ten Röntgenspektrum von einem Eichphantom (1) erhaltenen  
10 ersten Röntgenschwächungswerten, und einer zweiten Ver-  
teilung von, mit einem zweiten Röntgenspektrum von dem  
Eichphantom (1) erhaltenen zweiten Röntgenschwächungs-  
werten, wobei das Eichphantom (1) zumindest drei räum-  
lich voneinander getrennt angeordnete, sich in Dichte  
15 und/oder Ordnungszahl unterscheidende Eichproben (2)  
aufweist,

- Berechnen einer Dichtefunktion, die einer Kombination  
eines ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts ei-  
nes Materials mit einem zweiten aufgezeichneten Röntgen-  
20 schwächungswert des Materials einen Wert für eine Dichte  
des Materials zuordnet, und

- Berechnen einer Ordnungszahlfunktion, die einer Kombina-  
tion des ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts  
des Materials mit dem zweiten aufgezeichneten Röntgen-  
25 schwächungswert des Materials einen Wert für eine Ord-  
nungszahl des Materials zuordnet,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass mithilfe der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunk-  
tion aus den für eine Eichprobe (2) aufgezeichneten ersten  
30 und zweiten Röntgenschwächungswerten jeweils ein Wert für  
die Dichte und die Ordnungszahl der Eichprobe (2) ermit-  
telt, die Abweichung der ermittelten Werte von der tat-  
sächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe (2) fest-  
gestellt und auf der Basis der festgestellten Abweichung  
35 eine Abbildungsvorschrift erstellt wird, welche die von  
der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion ermittel-  
ten Werte in die tatsächlichen Werte überführt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass Eichproben verwendet werden, deren Werte für Dichte  
und Ordnungszahl den interessierenden Bereich einer Rönt-  
genuntersuchung umfassen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass in den interessierenden Bereichen von Dichte und Ord-  
nungszahl eine erhöhte Anzahl von Eichproben verwendet  
wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Abbildungsvorschrift in einer Datenverarbeitungs-  
anlage gespeichert wird.
5. Computerprogrammprodukt zur Kalibrierung einer Transforma-  
tion von zumindest zwei, mit unterschiedlichen Röntgen-  
spektren ermittelten Röntgenschwächungswerten eines Mate-  
rials in einen Wert für die Dichte und einen Wert für die  
Ordnungszahl des Materials, wobei das Computerprogrammpro-  
dukt folgende Programmanweisungen aufweist:
- Erstellen einer Dichtefunktion und einer Ordnungszahl-  
funktion aus den, von einem Eichphantom (1) mit zumin-  
dest drei räumlich voneinander getrennt angeordneten,  
sich in Dichte und/oder Ordnungszahl unterscheidende  
Eichproben (2) bei zumindest zwei unterschiedlichen  
Röntgenspektren aufgezeichneten Röntgenschwächungswer-  
ten,
  - Berechnen der Werte für Dichte und Ordnungszahl einer  
Eichprobe (2) mithilfe der Dichtefunktion und der Ord-  
nungszahlfunktion aus den, für die Eichprobe (2) aufge-  
zeichneten ersten und zweiten Röntgenschwächungswerten,
  - Berechnen der Abweichung der für die Eichprobe (2) be-  
rechneten Werte für Dichte und Ordnungszahl von der tat-  
sächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe (2),  
und

- Erstellen einer Abbildungsvorschrift, welche die von der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion ermittelten Werte auf der Basis der festgestellten Abweichung in die tatsächlichen Werte überführt.



## Zusammenfassung

Eichung der Transformation spektraler Röntgenschwächungswerte  
in Dichte- und Ordnungszahlinformation

5

Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Eichung einer Transformation von zumindest zwei, mit unterschiedlichen Röntgenspektren ermittelten Röntgenschwächungswerten eines Materials in einen Wert für die Dichte und einen Wert für die Ordnungszahl

10

des Materials. In einem ersten Verfahrensschritt wird eine erste Verteilung von mit einem ersten Röntgenspektrum von einem Eichphantom (1) erhaltenen ersten Röntgenschwächungswerten und eine zweite Verteilung von mit einem zweiten Röntgenspektrum von dem Eichphantom (1) erhaltenen zweiten Röntgenschwächungswerten aufgezeichnet. Das Eichphantom (1) weist

15

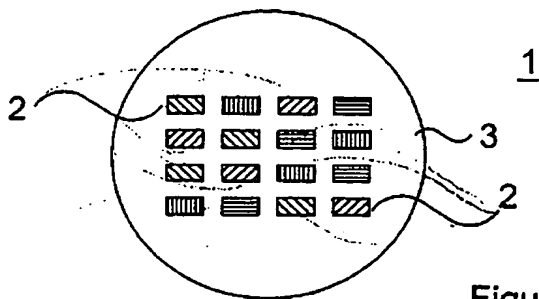
zumindest drei räumlich voneinander getrennt angeordnete, sich in Dichte und/oder Ordnungszahl unterscheidende Eichproben (2) auf. Aus den aufgezeichneten Röntgenschwächungswerten werden eine Dichtefunktion, die einer Kombination eines ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts eines Materials mit einem zweiten aufgezeichneten Röntgenschwächungswert des Materials einen Wert für eine Dichte des Materials zuordnet erstellt sowie eine Ordnungszahlfunktion, die einer Kombination des ersten aufgezeichneten Röntgenschwächungswerts des Materials mit dem zweiten aufgezeichneten Röntgenschwächungswert des Materials einen Wert für eine Ordnungszahl des Materials zuordnet. Aus den gemessenen Röntgenschwächungswerten werden mithilfe der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion aus den für eine Eichprobe (2) aufgezeichneten ersten und zweiten Röntgenschwächungswerten jeweils ein Wert für die Dichte und die Ordnungszahl der Eichprobe (2) ermittelt und die Abweichung der ermittelten Werte von der tatsächlichen Dichte und Ordnungszahl der Eichprobe (2) festgestellt. Auf der Grundlage der festgestellten Abweichung wird eine Abbildungsvorschrift erstellt, welche die von der Dichtefunktion und der Ordnungszahlfunktion ermittelten Werte in die tatsächlichen Werte überführt.

20

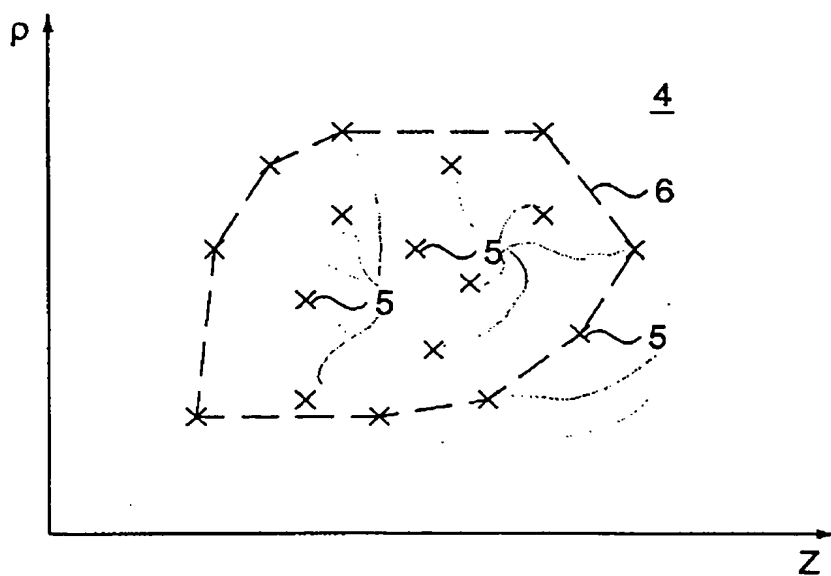
25

30

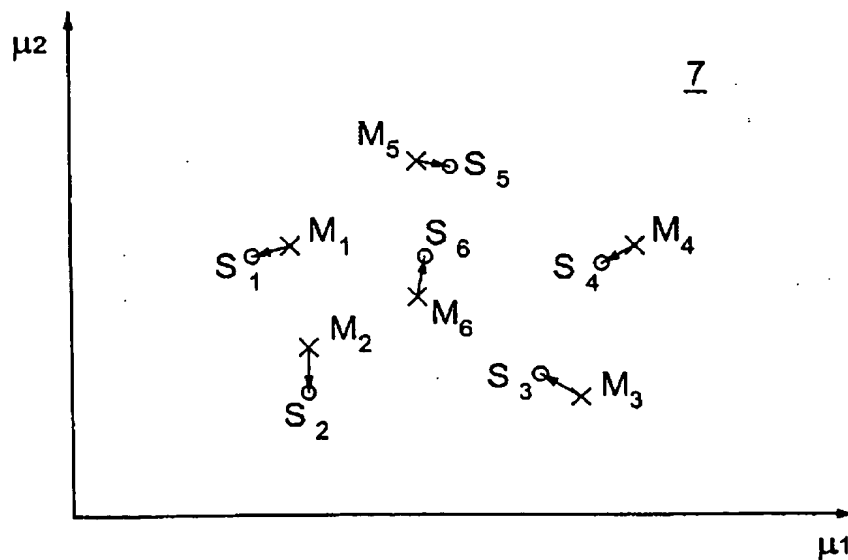
35



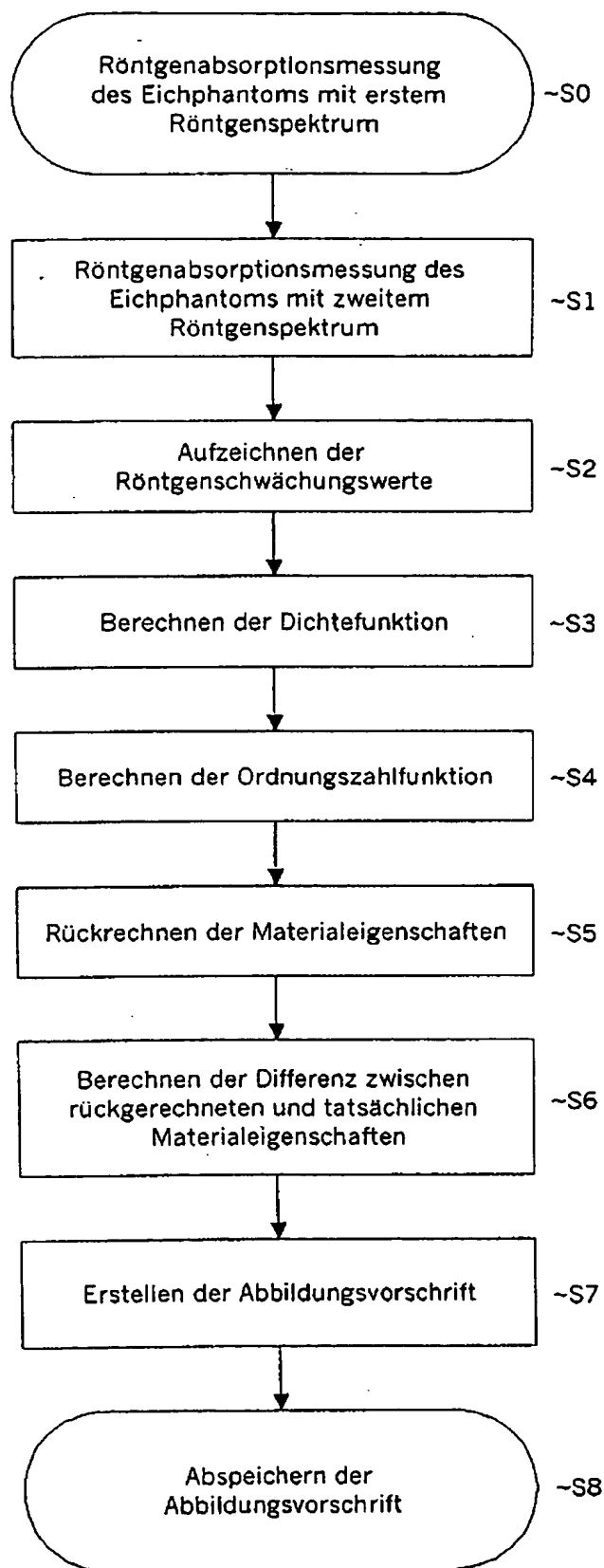
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4